

후풍의 영향을 배제한 다방향 비래염분 포집기 개발과 비래염분 포집에 관한 연구

Development of Multidirection Incoming Salt Collector that Excludes Backward Wind

박 동 천^{1*} 안 재 철² 김 우 재³

Park, Dong-Cheon^{1*} Ahn, Jae-Cheol² Kim, Woo-Jae³

Department of Architectural Engineering, Korea Maritime University, Yongdo-Gu, Busan, 606-791, Korea ¹

Department of Architectural Engineering, Donga University, Saha-Gu, Busan, 604-714, Korea ²

Posco E&C, 6F, OIC Buliding, Posco Global R&D Center, Songdo-Dong, Yeonsu-Gi, Incheon, 406-840, Korea ³

Abstract

Evaluation of the amount of chloride ion coming from the sea is very important in assessing the life expectancy of Reinforced Concrete structures. Developed in Japan, the incoming salt collector has been used to this day. Unfortunately, the incoming salt collector has had a bad reputation, which is caused by backward wind. Backward wind causes a reduction of the amount of salt collected in collector's gauze. The collector was developed to eliminate the effect of backward wind. Simulation test in the laboratory and site measurement were performed to determine the amount of incoming salt according to the height. The performance was verified through analytic and experimental methods.

Keywords : incoming salt, incoming salt collector, salt attack, fluid analysis simulation

1. 서 론

바다로부터의 바람에 의하여 육지에 운반되어지는 해염입자, 해수 물방울 속에 포함되어 있는 염화물 이온(이후 비래염분이라 칭함)은 해안부근의 철근 콘크리트 구조물에 침투하여 철근 부식을 발생 촉진시킴으로써 염해라 불리는 열화현상을 발생시킨다[1,2]. 필자는 최근 수년간 콘크리트 염해 내구성에 대하여 연구해 왔으나[3,4], 철근 콘크리트 구조물의 내구수명 산정을 위해서는 콘크리트의 염소이온 확산특성 평가 뿐만 아니라 해안 구조물 설치 장소 및 방향에 따른

비래염분량을 명백히 할 필요가 있다는 결론에 이르게 되었다[5].

해안에서의 비래염분 발생량과 내륙에서의 분포상황에 관해서는, 많은 실험적 연구를 국내외에서 실시하여 데이터를 축적하고 있다[6]. 대부분의 기존 연구는 일본에서 개발된 JIS식 또는 토연식 비래염분 포집기에 의존하여 데이터를 획득하여 왔다. 그러나 그러한 포집기는 이중석, 최원성의 연구에서 문제점이 제기되었다[7]. 그들의 연구에서 JIS식의 포집기는 포집용량이 작으며 토연식 포집기는 포집능력이 떨어진다고 지적하였으며 JIS식 포집기에서 거즈를 여러 겹으로 한 포집기를 개발하여 약 180~250%까지 많은 양의 포집이 가능한 포집기를 개발하였다.

해안가에 위치한 구조물에 도달하는 비래염분을 정량적으로 평가하기 위해서는 포집기 자체가 가지는 포집능력과 용량 뿐만 아니라, 포집방향에 대한 고려도 동시에 이뤄져야 한다. 기존의 연구에서는 일반적으로 해안가 수 m~

Received : May 7, 2011

Revision received : July 18, 2011

Accepted : August 4, 2011

* Corresponding author : Park, Dong-Cheon

[Tel: 82-51-410-4587, E-mail: dcpark@hhu.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.



(a) JIS style (b) Toyun style
Figure 1. Existing incoming salt collector [8]

수 km까지 포집기를 설치하여 포집한 후 그 결과를 이용하여 거리에 대한 비래염분량을 도출하고 있지만, 해안가에 위치한 구조물의 경우에는 바닷가를 면하고 있는 방향 뿐만 아니라, 측면과 배면에서도 바람이 불며 따라서 비래염분의 영향을 받게 된다. 또 포집기내 거즈에 포집된 비래염분은 배면의 바람에 의해 일탈할 우려도 있다. 이러한 문제점은 아직까지 제기된 적도 없으며 물론 현재까지 고려된 연구도 없는 실정이다.

그러한 문제점을 배경으로 본 연구에서는, 기존 JIS식 포집기를 개량하고 또 다방향 포집이 가능한 포집기를 개발하여 실험적, 해석적으로 성능을 검증하였다. 포집기의 비래염분 포집 정확성 및 다방향 포집능력 확보를 통해 실측데이터가 충분히 수명산정의 경계조건으로 사용될 수 있도록 검증하는 것을 본 연구의 목적으로 한다.

2. 비래염분 포집관련 기존 연구

2.1 기존 포집기의 특징 및 문제점 분석

Figure 1은 JIS식 포집기 및 토연식(일본 독립행정법인 토목연구소에서 개발한 방식이라 하여 줄여서 토연식이라 칭하고 있다) 포집기를 설치한 사진이다. JIS식 포집기는 JIS Z 2381 옥외 폭로시험 통칙에 따른 것으로 국내 KS규격에서는 KS D 0060 옥외 폭로 시험 방법 통칙에 규정되어 있는 방법과 동일하다. 포집면적, 즉 거즈의 크기는 100×100mm이며 거즈는 두 겹으로 사용하도록 하고 있다. Figure 1-(b)의 토연식의 경우에는 스테인레스 포집판, 실리콘 호스, 저장수통 및 포집기를 장착할 수 있는 스테인레스 박스로 구성되며, 비래염분은 저장수통에 부착되어 포집 최종일에 증류수에 의해 씻겨 내려간 양이 측정되게 된다. 또 그 하부에는 콘크리트 시험체를 둘 수 있게 하여 비래염분과 콘크리트 표면 염분량을 비교할 수 있도록

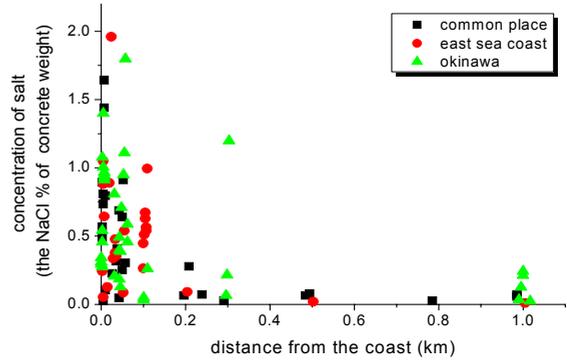


Figure 2. Chloride ion concentration on the concrete surface according to the distance from the coast[9]

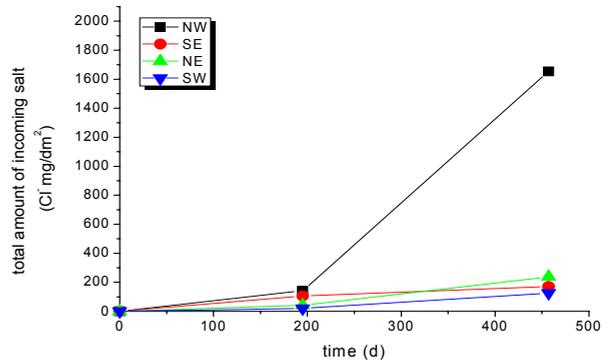


Figure 3. Amount of salt collected according to direction (Outdoor exposure test spot at Okinawa)[11]

고안된 장치이다. 하지만 포집 정확도가 떨어진다는 연구 결과가 국내외에서 여러 번 제기되어 문제점 보완이 필요한 실정이다.

이외에도 Deposit gauge법 포집기 및 최원성[6]에 의해 개발된 JIS개량 포집기가 있지만, 각각 일장 일단을 가지며, 높은 정확도로 다양한 데이터를 포집할 수 있는 포괄적 범용 포집기는 현재까지 없는 실정이다.

2.2 거리별 비래염분 포집결과

Figure 2는 실제 건축물에 있어서 콘크리트 표면부의 염분 농도와 해안에서의 거리의 상관관계를 나타내 것으로 거리가 증가함에 따라 농도는 감소경향을 나타내나 상당한 편차를 가지고 있어 그 값을 유용하게 사용하기는 힘든 실정이다[10]. Figure 3은 북서쪽을 바라보는 일본 오키나와 지방의 폭로 시험장(해안에서 10 m 떨어진 폭로 시험장)에서 1992.04~1993.06(1년 3개월)간 측정된 결과로서 포집량은 북서방향(NW, 해안방향)이 가장 많으며, 다른 3방향은 큰 차이를 보이지 않으며 북서방향의 약 7~14 % 정

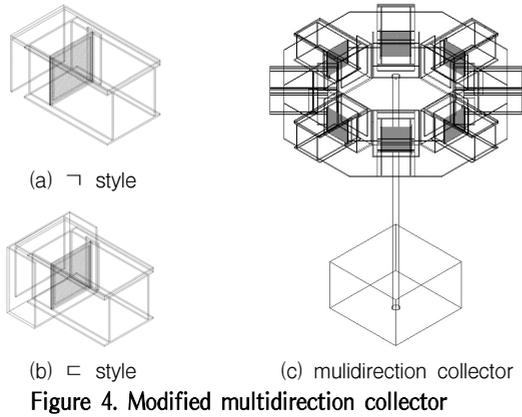


Figure 4. Modified multidirection collector

도의 양을 나타내는 것으로 관측되었다. 이상의 결과와 같이 거리에 따른 편차와 방향에 따른 포집량의 차이는 포집기 설치방향의 중요성을 말하고 있으며, 후풍에 의한 포집된 비래염분의 이탈 등 포집기 자체가 가지는 문제점 해결이 절실한 것을 암시한다고 볼 수 있다.

국내 연구로서는 함희정[12]에 의해 월별 비래염분을 방향별 풍속에 영향도를 산출하였으나 이는 유체와 염분의 혼상류 유동 특성을 반영하지 못한 통계적 수법으로 어느 지역에서나 정확한 예측값을 유도하기에는 무리가 있는 것으로 생각된다.

3. 비래염분 포집기 개발을 위한 시뮬레이션

3.1 비래염분 실측 데이터 비교

Figure 4-(a)와 Figure 4-(b)는 JIS식 비래염분 포집기에 후풍의 영향을 배제시키고자 포집기 뒷면에 7자형 또는 8자형 철판을 덧댄 포집기의 모습이다. 거즈의 면적은 $100 \times 100 \text{ mm}^2$ 이며 거즈의 위치는 강우의 영향을 받지 않도록 150 mm 정도 안쪽에 위치하도록 하였다. 전체 길이는 200 mm이며, 뒷판은 30 mm 정도 포집기에서 격리시켜 내부를 통과하는 바람이 순조롭게 지나갈 수 있도록 유도하였다. 이 포집기는 다방향 포집이 가능하도록 Figure 4-(c)와 같이 8방향으로 등간격으로 고정되어졌으며, 강우의 영향을 피하기 위하여 상부에 철판을 덧대는 형태로 제작되어 부산 해운대에 위치한 고층 아파트 옥상에 설치되었다. 2010년 7월에서 9월까지 3개월간 7자형 뒷판을 가진 포집기를 이용하여 측정한 결과를 Figure 5에 나타내었다. 동남쪽이 바닷가를 면하고 있음에도 불구하고 타방향에서 많은 양의 염분이 포집된 것으로 나타났다.

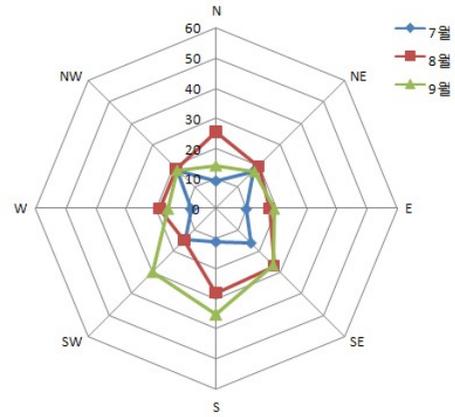


Figure 5. Measured data using the 7 style collector (P Apt. in Mangmidong, Busan, Korea)

이는 후풍을 막기 위해 뒷판을 설치하였음에도 불구하고 뒷쪽에서 비래염분이 유입되었으며, 전방에서 불어오는 바람이 뒷판에 가로막혀 풍속이 급격히 저하되어 비교적 소량의 비래염분이 방향성을 가지지 못한 채 측정된 것으로 판단된다.

3.2. 유체 수치시뮬레이션 실시

[3.1 비래염분 실측 데이터 비교]에서 제기된 7자형 뒷판 또는 8자형 뒷판과 후풍에 의한 바람의 유동변화를 분석하기 위하여 유체 수치 시뮬레이션을 실시하였다. 사용된 방정식은 나비에스토크 방정식으로 비압축성 유체에 의한 운동을 기술하는 기본 방정식이다. 수치해석의 구성방정식과 입력조건은 식(1), 식(2)와 같다.

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} - \nabla \cdot \eta (\nabla u + (\nabla u)^T) + \rho (u \cdot \nabla) u + \nabla p = F \quad (1)$$

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (2)$$

여기서, η 는 동점성을, u 는 속도 벡터, ρ 는 유체의 밀도, p 는 압력을 나타낸다. 난류를 해석하기 위한 모델은 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다.

Figure 6은 포집기 앞쪽에서 초속 1 m/s가 불어올 경우의 포집기 내부에서의 풍속의 변화 (contour과 Arrow로 나타냄)를 나타낸 것이다. 동일한 모델을 이용하여 풍속 0.5~20 m/s의 범위에서 수치해석을 실시하였다. Figure 7은 포집기 내부의 풍속변화를 나타낸 것으로 포

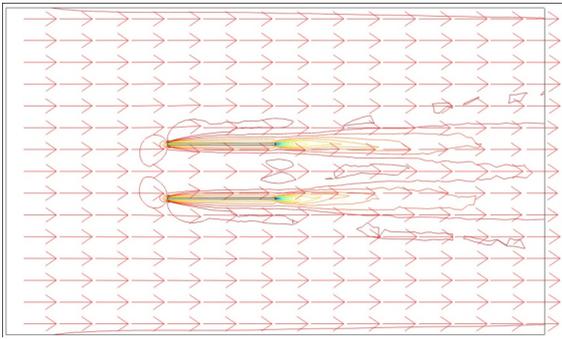


Figure 6. The change of wind velocity in collector in case of forward wind of 1 m/s

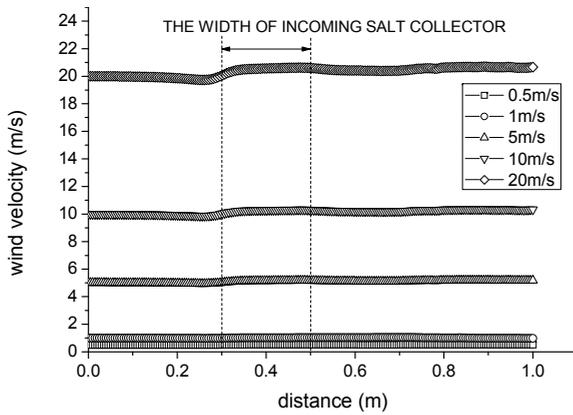


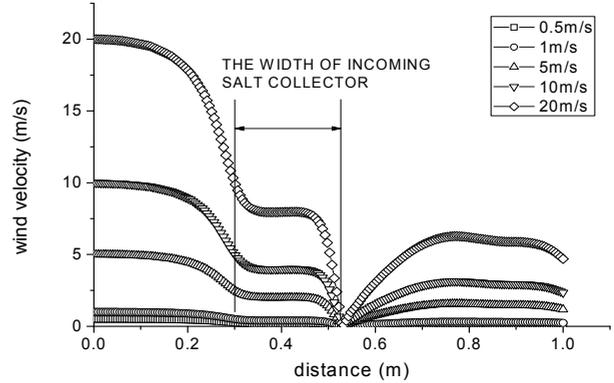
Figure 7. The change of wind velocity in collector

집기를 통과하는 부분에서 약간의 풍속상승이 나타났지만 포집량에 큰 영향을 미칠 정도는 아닌 미비한 풍속변화라 생각된다.

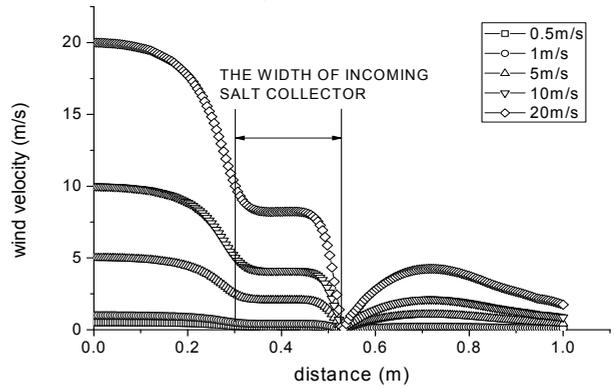
그러나 후풍의 영향을 배제시키기 위하여 설치한 ㄱ자형 또는 ㄷ자형 뒷판의 경우 Figure 8과 같이 포집기 내부에서 급격히 풍속이 감속하고 또 뒷판을 지난 후, 다시 후류가 형성되는 것으로 시뮬레이션 결과 예측 되었다. 포집기 내부의 풍속의 감소는 외부 풍속의 40% 정도인 것으로 예측되었다. 이는 후풍의 영향을 억제하기 위하여 설치한 뒷판의 존재로 전방에서의 풍속이 급격히 저하하여 실제의 통과 비래염분보다 낮게 평가할 우려가 있을 것으로 생각된다.

포집기 내부의 풍속의 감소는 외부 풍속의 40% 정도인 것으로 예측되었다. 이는 후풍의 영향을 억제하기 위하여 설치한 뒷판의 존재로 전방에서의 풍속이 급격히 저하하여 실제의 통과 비래염분보다 낮게 평가할 우려가 있을 것으로 생각된다.

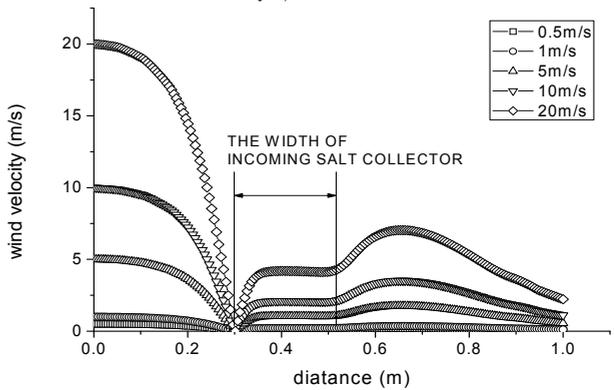
Figure 9는 ㄱ자형 뒷판을 가진 포집기가 15도 각도로 경우의 바람의 움직임을 시뮬레이션 한 결과이다.



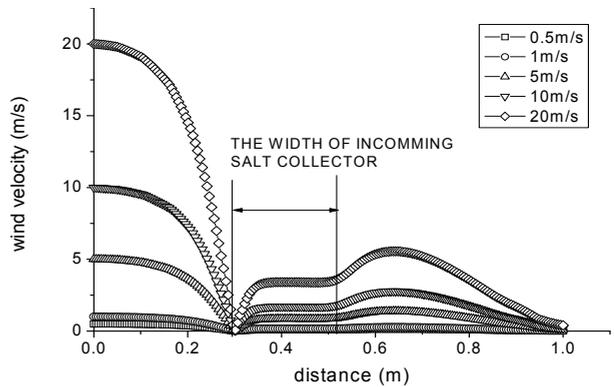
(a) ㄱ style, forward wind



(b) ㄷ style, forward wind



(c) ㄱ style, backward wind



(d) ㄷ style, backward wind

Figure 8. Wind velocity in collector according to change of outside wind condition

뒷바람의 영향을 억제하기 위하여 ㄱ자형 뒷판을 설치하였음에도 불구하고 후풍과 각도가 있을 경우 포집기 내부에 풍속이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 ㄱ자형 및 ㄷ자형 뒷판을 완전히 후풍의 영향을 억제할 수 없는 것으로 판단되었다. 대안으로 포집기와 간격을 유지하는 철판을 사용하기 보다 폴리에틸렌 재질의 100 μm 두께 필름을 사용하여 정방향의 바람은 저항 없이 통과하며 후풍은 완전히 차단할 수 있는 장치를 고안하였다. Figure 10에 그 개념도를 나타내었다. 전체길이는 200 mm로 전방에서 150 mm 지점에 거즈 포집기가 위치한다. 이는 빗물에 의한 포집 비래염분의 유실을 방지하기 위한 것이다. 거즈는 100*100 mm 크기이다.

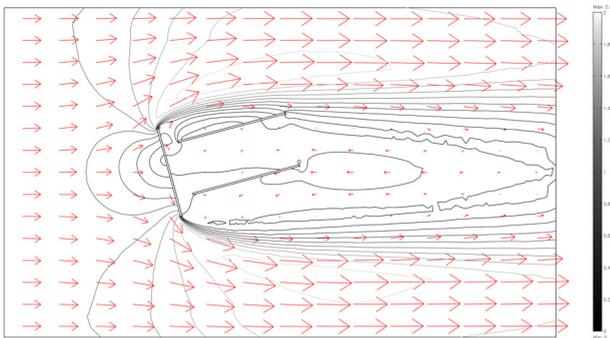


Figure 9. The influence of wake flow at 15° angle

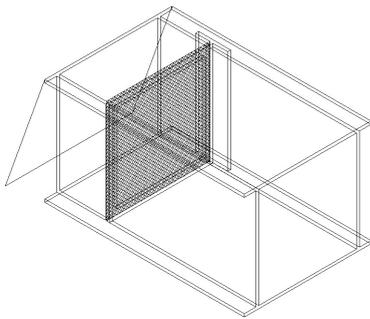


Figure 10. Incoming salt collector using the film sheet as back plate

4. 인공비래염분 발생기를 이용한 포집 시뮬레이션

[3.2 유체시뮬레이션 실시]에서 검토를 통하여 고안한 폴리에틸렌 필름 부착 포집기의 신뢰도를 검증하기 위하여 실험실에서 인공비래염분 포집기를 개발하여 전혀 뒷판이 없는 포집기와의 차이를 분석하기 위하여 실험을 실시하였다.

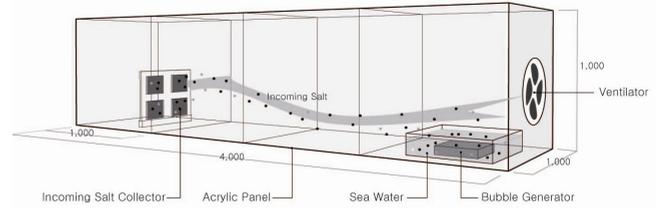


Figure 11. Artificial incoming salt collecting test

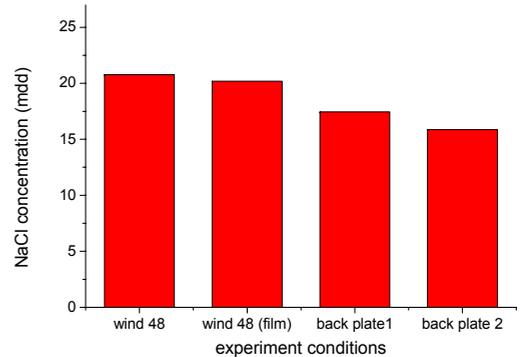


Figure 12. The change of the salt amount collected by collector's style

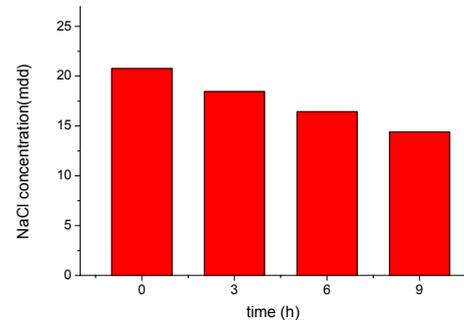


Figure 13. Decrease of salt amount collected by backward wind

실험의 모식도는 Figure 11과 같다. 인공풍속은 포집기 입구에서 3.4 m/s였다.

Figure 12은 뒷판의 조건을 변화시킨 경우 포집된 비래염분량을 비교한 그래프이다. x축의 wind 48은 뒷판이 없는 기존의 JIS식 포집기를 사용하여 48시간 동안 포집한 경우이며, wind 48(film)은 앞장에서 설명한대로 후풍의 영향을 차단하기 위하여 JIS식 포집기에 폴리에틸렌 필름을 부착한 포집기를 설치한 경우의 값이다. 나머지 back plate 1과 back plate 2는 ㄱ자형 뒷판과 ㄷ자형 뒷판을 사용한 경우이다. 필름을 부착한 경우에는 20.18 mdd로서 뒷판이 없는 경우와 거의 차이가 없었지만 ㄱ자형, ㄷ자형의 경우

에는 상당히 값이 떨어졌다. 이는 뒷판의 영향으로 포집기 내부의 풍속의 변화가 원인인 것으로 사료되며, 필름을 사용한 경우에는 차이가 없는 것이 실험을 통해 입증되었다.

Figure 13은 48시간 포집 후 동일 풍속으로 후풍을 가했을 경우 감소하는 비래염분량을 평가한 실험결과로, 0~9 시간에 시간경과에 따라 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 따라서 JIS식 포집기와 같이 후풍의 영향을 받는 경우에는 실제 비래염분이 통과하면서 포집된 비래염분량보다 다소 적은 값이 검출되는 것을 알 수 있다.

5. 높이별 비래염분량 측정

후풍의 영향을 배제하기 위하여 필름으로 개조한 포집기와 뒷판이 없는 포집기를 사용하여 실험을 실시하였다. 측정 장소는 부산광역시 영도구 소재 한국해양대학교 해양과학기술대학 건물로서 Figure 14와 같이 북서쪽을 향하고 있으며, 높이는 총 5층에 각 층 3.4 m이다.

이 측정 장소에서는 포집기 뒷면에 건물이 면하고 있어 후풍의 영향을 거의 배제할 수 있어 평가에 적절하다고 생각하였다. 포집기간은 2011. 01. 30 ~ 2011. 02. 26까지 28일간 측정하였다. Figure 15는 높이별 비래염분량 측정 결과를 나타낸 그래프이다. 결과에서 알 수 있듯이 뒷판이 없는 것과 필름지 부착의 포집기에서 상당히 유사한 값을 나타내었으며, 높이가 높아질수록 0.12~0.16 mdd의 범위에서 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 뒷판의 유무에 따라 데이터 값이 다소 상이한 것은 전방의 바람이 건물에 부딪혀 리바운드 된 바람에 기인한 것이라 생각된다.

6. 결 론

- 1) 기존의 JIS식 포집기는 후풍의 영향으로 실제 통과한 비래 염분량보다 적은 양이 거즈에 포집되는 것으로 밝혀졌다.
- 2) 후풍의 영향으로 거즈에 포집된 비래염분은 시간경과에 비례하여 감소하는 경향을 나타내었다.
- 3) 후풍의 영향을 막기 위해 설치한 ㄱ자형, ㄷ자형 뒷판은 포집기 내부의 풍속을 저하시켜 포집량 감소를 유발하였으며, 후풍의 영향으로 측정결과에 방향성이 고려되지 않는 것으로 평가되어졌다.



Figure 14. Measurement site

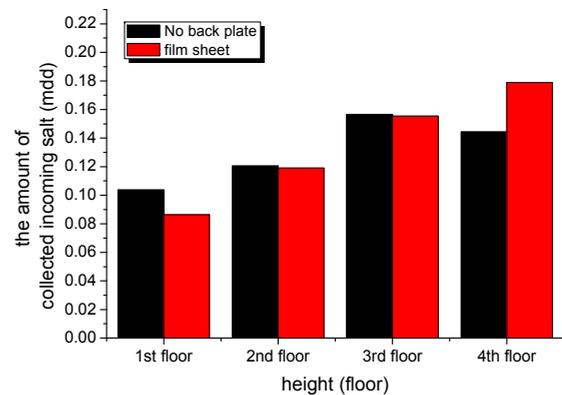


Figure 15. The amount of collected incoming salt according to the height

4) 뒷판으로 폴리에틸렌 필름을 사용한 경우 전방에서 불어오는 비래염분의 포집 정확도가 오차범위 내에 들며, 후풍의 영향도 완전히 배제할 수 있는 것으로 생각된다.

요 약

철근 콘크리트 구조물의 염해 내구수명 산정을 위해서는 비래염분량 평가가 필수적이다. 현재까지 국내에서도 국외에서 개발된 포집기를 주로 사용해 왔으나 포집기 자체의 결함으로 포집 정확도에 문제가 있다는 지적이 일어났었다. 본 연구 결과 기존의 포집기는 후풍의 영향을 배제할 수 없어 실제 포집기를 통과하면서 거즈에 부착된 비래염분은 후풍의 영향에 의해 이탈되어 포집량이 낮게 평가됨과 동시에 방향성, 즉 남쪽에서 불어오는 비래염분도 북향하고 있는 포집기에 포집되어 방향에 대한 구분이 없어지는 현상을 해석적, 실험적으로 규명하고, 문제해결형 개량형 포집기를 개발하였다. 또 해안지역에서 실측에 사용하여 높이별 비래염분량 측정과 동시에 포집기의 성능검증을 실시하였다.

키워드 : 비래염분, 비래염분 포집기, 염해, 유체해석 시뮬레이션

Acknowledgement

This research was supported by a grant(10 RTIP B01) from Regional Technology Innovation Program funded by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

References

1. Harvey H, Robert O, P.Kumar M. Concrete Deterioration from Physical Attack by Salts. *Concrete International*, 1996 Jan 1;18(1):63-8.
2. S Chatterji. Transportation of Ions Through Cement Based Materials PART1 Fundamental equations and basic measurement techniques. *Cement and Concrete Research*, 1994 Jan;24(5):907-12.
3. Oh SG, Park DC. Rapid Chloride Penetration Test for Concrete Based on the Electrochemical Method. *Korea*

- Institute of Navigation and Port Research*, 2010;34(10):787-92.
4. Kim JJ, Park DC. Protective Effect on the Chloride Ion Permeation of Cement Mortar by Steel Powder. *Journal of the Architectural institute of Korea Structure & Construction*, 2007;23(11):101-8.
5. Kim WJ, Park DC, Oh SG, Kim HY, Ahn JC. An Experimental Study on the Field monitoring for Airborne Sea Salt. Lee UG. *Structure & Construction, Proceedings of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea*; 2010 Oct; Chungju University. Seoul (Korea): The Architectural Institute of Korea; p. 245-6.
6. Lee JS, Choi WS, Moon HY. A Study on the Distribution of Airborne Sea Salt to the Distance from Seashore. *Korea Concrete Institute, KCI Spring 2004 Convention*; 2004 May 21-22; Bokwang Phoenix Park, Seoul: Korea Concrete Institute; 2004. p. 842-5.
7. Lee JS, Choi WS, Ahn KH, Lee JH. Area index of airborne chlorides at the seashore in Korea. *Korea Concrete Institute, KCI Fall 2006 Convention*; 2006 Nov 4; Soongsil University. Seoul: Korea Concrete Institute; 2006. p. 609-12.
8. <http://www.tokai-techno.co.jp/service/salt.htm>
9. Kasahi H. A Study on Salt Percolation in Reinforced Concrete Structures [in Japanese]. *Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, Materials and construction, fire safety, off-shore engineering and architecture, computer application*, 1985;60:97-8.
10. Lee JS. Estimation of the Surface Chlorides for Concrete Structures in the Seashore Considering Airborne Chlorides. [Dissertation]. Seoul (Korea): Hanyang University; 2006. 136 p.
11. Kakegawa M. Investigation of Salinity in Atmosphere and Chloride Ion Penetration into Concrete. *Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, A Materials and construction, fire safety, off-shore engineering and architecture, information systems technology*, 1994;147-8.
12. Ham HJ, Seo CH. A Study on Relationship between Airborne Salinity and Wind Velocity. *Journal of Architectural Institute of Korea*, 2006;22(10):345-52.